



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS AVANÇADO LAGOA DA CONFUSÃO – TO**

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

IGOR FAYDER DE SOUZA E SILVA

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE VÁRZEA E SEUS EFEITOS NA
MORFOLOGIA E PRODUÇÃO DA SOJA**

**LAGOA DA CONFUSÃO
2024**

IGOR FAYDER DE SOUZA E SILVA

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE VÁRZEA E SEUS EFEITOS NA
MORFOLOGIA E PRODUÇÃO DA SOJA**

Pré-projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica, do *Campus* Lagoa da Confusão do Instituto Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Agrônômica.

Orientador(a): Professor Dr. Reinaldo Medeiros

Coorientador(a): Dr. João Paulo de Oliveira Santos

**LAGOA DA CONFUSÃO
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

D278n de Souza e Silva, Igor Fayder
NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE VÁRZEA E SEUS
EFEITOS NA MORFOLOGIA E PRODUÇÃO DA SOJA / Igor Fayder
de Souza e Silva. – LAGOA DA CONFUSAO, TO, 2024.
33 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Tocantins, Campus Lagoa da Confusão, LAGOA DA CONFUSAO,
TO, 2024.

Orientador: Dr. Reinaldo Ferreira Medeiros

Coorientador: Dr. João Paulo de Oliveira Santos

1. Compactação do Solo. 2. Agricultura de Precisão. 3. Soja. I.
Ferreira Medeiros, Reinaldo. II. de Oliveira Santos, João Paulo. III.
Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

IGOR FAYDER DE SOUZA E SILVA

**NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE VÁRZEA E SEUS EFEITOS NA
MORFOLOGIA E PRODUÇÃO DA SOJA**

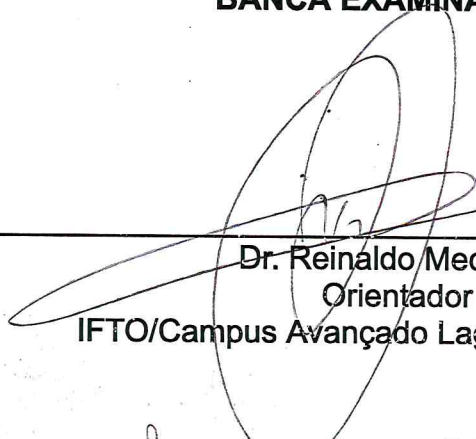
Pré-projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Agrônômica, do *Campus* Lagoa da Confusão do Instituto Federal
do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Bacharel(a)
em Engenharia Agrônômica.

Orientador(a): Professor Dr. Reinaldo Medeiros

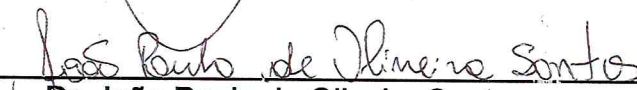
Coorientador(a): Dr. João Paulo de Oliveira Santos

Aprovado em: 24/06/2024

BANCA EXAMINADORA



Dr. Reinaldo Medeiros
Orientador
IFTO/Campus Avançado Lagoa da Confusão



Dr. João Paulo de Oliveira Santos
IFTO/Campus Avançado Lagoa da Confusão



Me. Rafael Dos Santos Silva
IFTO/Campus Avançado Lagoa da Confusão

Dedico este trabalho à minha querida avó, cujo empenho em me educar sempre veio em primeiro lugar, pois aqui estão os resultados dos seus esforços e com muita gratidão agradeço também a minha família que sempre esteve ao meu lado em todas as etapas deste trabalho. Seu apoio incondicional, amor e incentivo foram essenciais para que eu pudesse superar os desafios e chegar até aqui.

RESUMO

O estudo da compactação do solo é crucial na agricultura moderna devido à necessidade de aumentar a produtividade e a sustentabilidade. O Brasil, líder global na produção de grãos, alcançou uma safra recorde em 2023, atribuída ao avanço tecnológico e ao uso de cultivares adaptadas. No entanto, a qualidade do solo continua sendo fundamental para o sucesso agrícola, com a compactação do solo emergindo como uma preocupação crítica. O estudo será realizado na Fazenda Experimental Virginia, localizada em Lagoa da Confusão-TO, abrangendo uma área de 10 hectares. O objetivo principal é avaliar o impacto da compactação do solo na morfologia e produtividade da soja. Para isso, será empregada uma grade de amostragem de cinco pontos por hectare para coletar dados sobre a altura das plantas, número de folhas, resistência à penetração do solo e produtividade da soja, em uma profundidade de 0-40 centímetros. A metodologia inclui o mapeamento da compactação do solo e seus efeitos morfológicos na cultura da soja, utilizando o software QGIS 2.18.0. A técnica de krigagem será utilizada para gerar mapas que mostram áreas compactadas, variando de vermelho para áreas altamente compactadas até verde para áreas menos compactadas. A pesquisa é justificada pela ação inovadora de usar tecnologias para criar mapas detalhados da morfologia e produtividade das plantas de soja, armazenando dados de cultivo ao longo dos anos. Isso poderá melhorar a gestão de propriedades rurais ao proporcionar entendimento detalhado das lavouras e aumentar a produtividade agrícola sem expandir para novas áreas, reduzindo impactos ambientais.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Física do Solo; Geoestatística.

ABSTRACT

The study of soil compaction is crucial in modern agriculture due to the need to increase productivity and sustainability. Brazil, the global leader in grain production, achieved a record harvest in 2023, attributed to technological advances and the use of adapted cultivars. However, soil quality remains fundamental to agricultural success, with soil compaction emerging as a critical concern. The study will be carried out at the Virginia Experimental Farm, located in Lagoa da Confusao-TO, covering an area of 10 hectares. The main objective is to evaluate the impact of soil compaction on soybean morphology and productivity. To achieve this, a sampling grid of five points per hectare will be used to collect data on plant height, number of leaves, resistance to soil penetration and soybean productivity, at a depth of 0-40 centimeters. The methodology includes mapping soil compaction and its morphological effects on soybean crops, using QGIS 2.18.0 software. The kriging technique will be used to generate maps that show compacted areas, ranging from red for highly compacted areas to green for less compacted areas. The research is justified by the innovative action of using technologies to create detailed maps of the morphology and productivity of soybean plants, storing cultivation data over the years. This could improve the management of rural properties by providing a detailed understanding of crops and increasing agricultural productivity without expanding into new areas, reducing environmental impacts.

Keywords: Precision Agriculture; Soil Physics; Geostatistics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização geográfica do talhão experimental.....	20
Figura 2 – Grade regular aleatorizada com 60 pontos no aplicativo Amostragem de solos.....	21
Figura 3 - Penetrômetro de Solos com Anel Dinamométrico.....	24
Figura 4 - Balança de Precisão Bel S2202H.....	25
Figura 5 - Medidor de Umidade de Grãos Portátil G610i Gehaka.....	25
Figura 6 - Gps Portátil Garmin Etrex 10 Preto/amarelo Mundial.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cronograma das atividades projetadas para elaboração do projeto..	28
Tabela 2: Orçamento para realização do projeto.....	29

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
SUMÁRIO.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
3. JUSTIFICATIVA.....	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1 Objetivo Geral.....	14
4.2 Objetivos Específicos.....	14
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
5.1 - Produtividade da soja em sistemas de manejo compactados.....	15
5.2 - Conceitos e Origens da agricultura de precisão.....	16
5.3 - Fatores Envolvidos na Compactação do Solo.....	16
5.3 - Geoprocessamento e Mapeamento de Solos.....	18
6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
6.1 Localização e características da área experimental.....	20
6.1 Criação de malha amostral para coleta de dados.....	21
6.2 Determinação da altura e número de folhas de soja.....	22
6.3 Coleta de dados de resistência à penetração do solo.....	22
6.3.1. Transformação de kgf para kgf/cm ²	22
6.4 Determinação de produtividade.....	23
6.4.1 Fórmula de desconto de umidade:.....	23
6.5 Mapeamento em software QGIS 2.18.0.....	23
6.6 Equipamentos utilizados.....	24
7. RESULTADOS ESPERADOS.....	27
8. CRONOGRAMA.....	28
9. PLANILHA DE ORÇAMENTO.....	29
10. REFERÊNCIAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

O mapeamento de pontos de compactação do solo representa um campo vital de pesquisa na agricultura contemporânea, especialmente diante do cenário desafiador em que a produção agrícola enfrenta demandas crescentes por produtividade e sustentabilidade. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, o Brasil consolidou sua posição como maior produtor mundial de grãos, com uma safra recorde que superou as 154.810,7 mil toneladas, representando um aumento significativo em relação ao período anterior (CONAB, 2023). Este crescimento expressivo é atribuído, em parte, ao avanço tecnológico, à utilização de maquinários modernos e a cultivares adaptadas ao ambiente local. No entanto, a qualidade do solo permanece como um fator crítico para o sucesso agrícola, e a compactação do solo emerge como uma preocupação significativa.

A compactação do solo, resultante de diversas práticas de manejo e do intenso tráfego de máquinas agrícolas, pode comprometer o desenvolvimento das plantas, especialmente a cultura da soja (Silva, et al. 2006; Valadão, et al.; 2017). Esta compactação altera atributos físicos do solo, como densidade, porosidade e resistência à penetração, afetando negativamente o crescimento do sistema radicular e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Arcoverde, et al.; 2022; Zambrana et al.; 2010; Kirnak, et al.; 2016; Arcoverde et al.; 2022).

Agricultura de precisão, por outro lado, oferece soluções promissoras para monitorar e gerenciar a compactação do solo, contribuindo para a redução de custos e a otimização do uso dos recursos (Massruhá et al.; 2023). Esta abordagem é crucial para mapear a variabilidade espacial de atributos do solo, produtividade de culturas e outros parâmetros agrícolas, fornecendo insights valiosos para melhorar a eficiência agrícola (Wang, et al.; 2019; Sharma et al.; 2021).

Diante da importância econômica da soja e da necessidade de compreender os efeitos da compactação do solo, este estudo visa avaliar a influência da compactação nas várzeas, e sua relação com os atributos físicos do solo e a produtividade da soja. Ao avaliar o desempenho das culturas em diferentes sistemas de manejo, buscamos compreender os efeitos desses sistemas a longo prazo na produtividade e qualidade da soja, além de identificar estratégias sustentáveis para a preservação do solo (Arcoverde et al.; 2019a).

A problemática em estudo está intimamente ligada ao manejo e as consequências para as propriedades físicas do terreno. Solos densos apresentam resistência à interação mecânica, prejudicando o desenvolvimento das plantas e, consequentemente, a produtividade agrícola (Troleis, 2020). A compreensão e o diagnóstico da compactação do solo representam desafios, com estudos buscando estabelecer valores críticos dos seus atributos, que possam detectar e relacionar a compactação com o desenvolvimento das plantas (Letey, 1985; Reichert et al.; 2003; Beutler et al.; 2005; Moraes et al.; 2014; Peixoto et al.; 2019).

Diante da necessidade de aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável, a agricultura do futuro busca extrair o máximo valor de cada etapa do ciclo de produção (Basso et al.; 2019). Nesse contexto, a agricultura de precisão desempenha um papel fundamental na gestão de decisões para melhorar a eficiência do uso de recursos, a

produtividade e a sustentabilidade da produção agrícola (Molin et al.; 2020). A delimitação de zonas de manejo, apoiada por métodos estatísticos e computacionais eficientes, emerge como uma estratégia promissora na prática da agricultura de precisão, permitindo um entendimento mais profundo do histórico das áreas cultivadas e a detecção de variações nas lavouras (Georgi et al.; 2018; Rosa, 2021; Turcatto, 2018).

2. PROBLEMA DE PESQUISA

A germinação das sementes é um processo de grande complexidade, influenciado por diversos fatores, destacando-se a umidade, temperatura e aeração do solo. Contudo, é importante ressaltar que a compactação do solo ao redor das sementes desempenha um papel significativo nesse processo. Pesquisas recentes têm demonstrado que a compactação do solo pode impactar diretamente a germinação das sementes, interferindo na disponibilidade de água, ar e temperatura necessárias para o desenvolvimento das plântulas (Modolo et al.; 2011; Ferraz et al.; 2017).

Considerando a alta produtividade agrícola do Brasil, há uma necessidade crescente de tecnologias que facilitem a rentabilidade. A tecnologia de agricultura de precisão fornece coleta precisa de dados do solo e aplicação precisa de medidas ou correções nas áreas onde elas são mais necessárias. Isto melhora o conhecimento sobre a saúde do solo, reduzindo erros e melhorando os rendimentos globais do setor, sendo a compactação um sério problema para os solos agrícolas, seu estudo é intenso, bem como também a busca por medidas que permitam a comparação entre os diferentes solos (Almeida et al.;2008).

Com a introdução da Agricultura de Precisão, que integra três tecnologias fundamentais ao sistema sensoriamento remoto, GPS e geoprocessamento, é possível obter dados precisos para melhorar a produtividade agrícola. Isso evitará danos decorrentes da diminuição do oxigênio e do crescimento radicular nas plantações.

- Como a agricultura de precisão pode auxiliar nos problemas relacionados à compactação dos produtores?
- A compactação do solo pode ocasionar modificações morfológicas numa plantação de soja?

3. JUSTIFICATIVA

A pesquisa é justificada pelo planejamento rural estratégico através de tecnologias inovadoras, com o objetivo fornecer mapas detalhados de morfologia e produtividade de plantas de soja, incluindo e armazenando informações de culturas ao longo dos anos, para a tomada de decisões razoáveis, bem como mostrar a diferença morfológica e produtiva da planta de soja em solos adensados. Isso pode revolucionar a maneira como se pensa e gerencia propriedades rurais, auxiliando no melhor entendimento de lavouras sem degradar novas áreas e diminuindo os impactos ao meio ambiente.

A importância deste tema para os produtores e para a comunidade científica se dá pela possibilidade de levantar dados de todas suas áreas, analisar informações em mapas, otimizar o processo de tomada de decisão com base em dados, aumentar produtividade das atividades agrícolas e prevenir riscos de manejo inadequado, é o que justifica a realização deste trabalho.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia de geoprocessamento com foco na compactação de solos em área agrícola, projetando zonas de manejo baseadas na correlação entre avaliações de atributos físicos do solo, e seus efeitos na morfologia e produtividade da cultura de soja em solos de várzea utilizando o software de acesso livre QGIS, com o propósito de disponibilizar informações para o diagnóstico e previsões do talhão em estudo, possibilitando monitorar as características da área, antecipar à ocorrência de problemas futuros e definir os próximos passos na tomada de decisão.

4.2 Objetivos Específicos

1. Realizar o monitoramento de áreas compactadas em solos de várzea por meio da medição da resistência à penetração em áreas cultivadas.
2. Desenvolver mapas de compactação do solo utilizando softwares de geoprocessamento, com ênfase na identificação de áreas com diferentes níveis de compactação.
3. Investigar os efeitos da compactação do solo na morfologia da planta de soja, com foco na análise de parâmetros como altura de planta e número de folhas.
4. Estabelecer correlações entre os níveis de compactação do solo e os efeitos observados na morfologia da planta de soja, visando compreender como a compactação influencia o desenvolvimento da cultura da soja.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 - Produtividade da soja em sistemas de manejo compactados

A compreensão da compactação do solo é crucial para a agricultura moderna, especialmente na produção de culturas como a soja. Ahmed et al. (2019) destacam que, com o crescimento populacional, a necessidade de uma agricultura sustentável torna-se fundamental, visto que o solo desempenha um papel crucial na produção de alimentos de qualidade. A compactação do solo representa um desafio significativo para os agricultores, especialmente em regiões com texturas mais pesadas e alta pluviosidade, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas e a produtividade da cultura da soja (Busscher et al.; 2017).

Santos et al. (2018) relata que a compactação do solo ocorre quando as partículas do solo são pressionadas juntas, reduzindo a porosidade e a capacidade de retenção de água. Essa redução na porosidade do solo dificulta a absorção de nutrientes pelas raízes da soja, prejudicando seu crescimento. Como resultado, a planta enfrenta dificuldades no estabelecimento e desenvolvimento radicular, afetando diretamente seu crescimento e produtividade (Gonçalves, 2019).

Estudos recentes, como o de Moraes et al. (2020), têm evidenciado os impactos da compactação do solo na cultura da soja, observando que o aumento da compactação afeta a densidade do comprimento da raiz e a massa seca da cultura analisada. A presença de solos compactados tornou-se um problema comum na agricultura moderna, associado ao uso intensivo de máquinas pesadas e práticas inadequadas de manejo (Shah et al.; 2017). Bertollo e Levien (2019) ressaltam que solos compactados ou próximos à compactação prejudicam o desenvolvimento radicular das plantas, comprometendo sua eficiência na absorção de água e nutrientes.

No entanto, a compactação do solo não afeta apenas o desenvolvimento radicular das plantas, mas também sua arquitetura radicular e resposta ao estresse. Fried et al. (2018) mencionam que a compactação do solo reduz o crescimento radicular, causando perdas significativas de rendimento nas culturas, especialmente quando associada ao estresse hídrico. A plasticidade fenotípica das plantas sob estresse torna-se crucial para a adaptação das culturas a condições adversas, destacando a importância de programas de melhoramento genético (Negin e Moshelion, 2016).

A tolerância à compactação do solo é um atributo desejável nos genótipos de soja, pois permite que a planta mantenha um rendimento estável em locais com diferentes níveis de estresse (Correa et al.; 2019). Identificar genótipos tolerantes à compactação é essencial para o cultivo em regiões com solos compactados, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência da produção agrícola. Estudos como o de (Galambošová et al. 2017) demonstram que a resposta dos genótipos de soja à compactação do solo varia de acordo com o nível de compactação e as condições climáticas locais.

Em resumo, a compactação do solo representa um desafio significativo para a agricultura, especialmente na produção de culturas como a soja. Seus efeitos prejudicam não apenas o desenvolvimento radicular das plantas, mas também sua arquitetura, resposta ao estresse e rendimento. Identificar genótipos tolerantes à compactação e implementar práticas de manejo adequadas são essenciais para garantir a sustentabilidade e eficiência da produção agrícola em áreas com solos compactados.

5.2 - Conceitos e Origens da agricultura de precisão.

A agricultura de precisão (A.P.) emergiu como uma resposta à necessidade de aprimoramento no rendimento das culturas, buscando estratégias que permitam o manejo localizado do cultivo. Tradicionalmente, a aplicação uniforme de insumos no solo tem sido a prática convencional, porém, com a A.P.; busca-se corrigir essa abordagem por meio da utilização de tecnologias e ferramentas inovadoras. Como ressaltado por Lamparelli (2016), a A.P. visa reduzir perdas e custos na agricultura ao empregar programas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a geração de mapas e análise de dados.

A agricultura de precisão foi definida em 2019 pela Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão como uma estratégia de gestão que integra dados temporais, individuais e espaciais para subsidiar decisões gerenciais. Essa abordagem visa melhorar a eficiência no uso de recursos, aumentar a produtividade, garantir a qualidade e a sustentabilidade da produção agropecuária (ISPA, 2019). Esse conceito fundamenta-se na coleta de dados por meio de sensoriamento remoto, amostragem de solo e planta, seguida pelo processamento e interpretação desses dados por especialistas na área.

O desenvolvimento da agricultura de precisão ao longo dos anos reflete a evolução das técnicas, ferramentas e metodologias empregadas na agricultura moderna. A necessidade de maximizar a eficiência dos processos produtivos, aumentar a produtividade das áreas cultivadas e garantir o uso sustentável dos recursos naturais impulsionou a adoção da A.P. como uma abordagem estratégica na gestão agrícola (ISPA, 2019).

A variabilidade espacial do solo é uma característica intrínseca aos sistemas naturais e desempenha um papel fundamental na determinação do potencial produtivo das culturas. A análise dessa variabilidade é essencial para a identificação de áreas com compactação do solo, que podem resultar em rendimentos abaixo do esperado (Silva et al.; 2020). Portanto, compreender a distribuição e intensidade da compactação do solo é crucial para o sucesso da agricultura de precisão.

O geoprocessamento surge como uma ferramenta poderosa para o mapeamento e análise da compactação do solo em sistemas de agricultura de precisão. A integração de dados espaciais, temporais e individuais permite aos produtores identificar áreas suscetíveis à compactação e implementar estratégias de manejo localizado para mitigar esse problema (Reghini e Cavichioli, 2020).

Além disso, o uso de sensoriamento remoto e técnicas de amostragem de solo e planta possibilita a coleta de dados detalhados sobre a compactação do solo em diferentes áreas da propriedade agrícola. Esses dados podem ser processados e analisados por meio de softwares específicos, fornecendo informações valiosas para a tomada de decisões gerenciais (Pusch et al.; 2019).

5.3 - Fatores Envolvidos na Compactação do Solo.

A compactação do solo é um desafio significativo na agricultura, causado pelo uso intenso de máquinas agrícolas e pisoteio animal, que resultam na resistência mecânica do solo à penetração das raízes (SANTOS et al.; 2011). Essa compactação pode alterar diversos fatores que afetam o crescimento radicular, como aeração, retenção de água e resistência à penetração, aumentando a susceptibilidade do solo à erosão (DIAS FILHO, 2014; TASSINARI et al.; 2015).

Um estudo realizado por Bonini et al. (2015) demonstrou que o uso de lodo em solos degradados pode promover o estabelecimento rápido e crescimento das culturas, além de melhorar o desenvolvimento radicular. A incorporação de lodo ao solo pode melhorar a agregação das partículas, diminuindo a densidade e aumentando a macroporosidade, resultando em melhor aeração e retenção de água.

A compactação do solo é um fenômeno complexo que pode ocorrer em diferentes tipos de solos e em diferentes graus. Esse processo afeta negativamente os atributos do solo, reduzindo a macroporosidade e aumentando a microporosidade, o que resulta na diminuição da aeração e na resistência à penetração radicular (LAGES, 2019). Estudos realizados na região Sul do Paraná ressaltam a importância da recuperação de solos compactados, especialmente em áreas com solos pobres, onde a compactação está diretamente relacionada à restrição hídrica das plantas (Benassi et al.; 2019).

A reação do solo à compactação varia de acordo com seu tipo, sendo que solos arenosos tendem a ser mais resistentes devido ao tamanho de suas partículas, enquanto solos argilosos são mais facilmente compactados devido ao tamanho reduzido de suas partículas e poros (Hargreaves et al.; 2019). A estrutura do solo, sua textura, umidade, densidade e outras características são fatores determinantes na avaliação da compactação e na identificação de possíveis impedimentos ao crescimento das raízes.

A umidade do solo desempenha um papel crucial na sua susceptibilidade à compactação. Altas cargas exercidas sobre solos úmidos aumentam significativamente a compactação, reduzindo a porosidade e a capacidade de suporte do solo (Shah et al.; 2017). Além disso, a pressão exercida na superfície do solo em condições de umidade inadequada pode potencializar a compactação e causar danos estruturais, afetando a distribuição de água no solo e dificultando o desenvolvimento das raízes (Colombi et al.; 2018).

O sistema de manejo do solo também influencia a compactação. O plantio direto é considerado mais eficiente no controle da erosão e na melhoria de características físicas, químicas e biológicas do solo em comparação com o sistema convencional (Veríssimo e Ferraz, 2019). O uso de práticas agrícolas inadequadas, como o uso de maquinário pesado e o preparo inadequado do solo, pode levar à compactação, reduzindo a porosidade, estabilidade e condutividade hidráulica do solo, afetando a disponibilidade de nutrientes e prejudicando o desempenho das culturas (Shah et al.; 2017).

A compactação do solo afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente as raízes, resultando em alterações na arquitetura do sistema radicular, redução na absorção de água e nutrientes, e consequentemente, na diminuição do rendimento das culturas (Kolb et al.; 2017). As plantas adaptam sua arquitetura radicular em resposta à impedância mecânica do solo, buscando explorar camadas menos compactadas e garantir sua sobrevivência em condições adversas (Corrêa et al.; 2019).

A resistência à penetração das raízes é aumentada devido à compactação do solo, o que resulta em menor exploração do volume de solo pelas raízes, limitando a absorção de água e nutrientes (Bengough et al.; 2011). Mudanças na arquitetura do sistema radicular, como redução do comprimento, área e volume radicular, afetam o rendimento das culturas, resultando em menor produção (Colombi & Keller, 2019).

A plasticidade fenotípica das plantas desempenha um papel importante na

adaptação à compactação do solo, permitindo que desenvolvam características específicas, como aumento do diâmetro radicular, ângulos de raiz mais acentuados e maior tortuosidade radicular para explorar o solo em busca de água e nutrientes (Correa et al.; 2019). Além disso, a seleção de genótipos tolerantes à compactação do solo pode contribuir para o aumento da produtividade das culturas em condições adversas.

Em resumo, a compactação do solo é um problema agrícola significativo que afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, reduzindo a disponibilidade de água e nutrientes no solo e, conseqüentemente, o rendimento das culturas. A compreensão dos fatores e conseqüências da compactação do solo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo adequadas que minimizem seus efeitos e promovam a sustentabilidade da agricultura.

5.3 - Geoprocessamento e Mapeamento de Solos.

A compactação do solo é uma preocupação crescente no contexto da agricultura de precisão, especialmente devido aos efeitos adversos que pode ter sobre o rendimento das culturas e a eficácia das práticas de manejo. Conforme Lamparelli (2016), a agricultura de precisão surge como uma abordagem estratégica para otimizar o uso de recursos e aumentar a sustentabilidade da produção agropecuária, utilizando dados espaciais e temporais para embasar as decisões de manejo. No entanto, a compactação do solo pode comprometer esses objetivos, reduzindo a eficiência no uso de recursos e a produtividade das culturas.

Bernardi e Inamasu (2014) destacam que a agricultura de precisão visa corrigir as falhas do manejo convencional, proporcionando uma abordagem mais localizada e personalizada. No entanto, a compactação do solo representa um desafio significativo nesse contexto, uma vez que pode afetar negativamente a distribuição de nutrientes e aeração do solo, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

A definição da Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA, 2019) enfatiza a importância da gestão da variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos. No entanto, a compactação do solo pode introduzir uma fonte adicional de variabilidade não desejada, dificultando a implementação eficaz das estratégias de agricultura de precisão.

Pusch et al. (2019) explica que a coleta e análise de dados são etapas fundamentais da agricultura de precisão, permitindo a geração de mapas e informações espaciais para orientar as decisões de manejo. No entanto, a presença de áreas compactadas pode distorcer esses dados, levando a recomendações imprecisas e ineficientes de insumos agrícolas.

Bullock et al. (1998) e Shanahan et al. (2004) destacam a importância da identificação das zonas de manejo na agricultura de precisão, considerando fatores como fertilidade do solo, topografia e índices de vegetação das culturas. No entanto, a compactação do solo pode influenciar a delimitação dessas zonas, uma vez que áreas compactadas podem apresentar padrões de rendimento de grãos distintos que não são facilmente modificáveis pelo manejo.

A avaliação da variabilidade espacial do solo, conforme Silva et al. (2020), é essencial para entender as diferenças dentro da área cultivada e identificar intervenções necessárias para maximizar a produtividade. No entanto, a presença de áreas

compactadas pode introduzir uma fonte adicional de variabilidade, complicando a interpretação dos dados e a implementação de práticas de manejo adequadas.

O geoprocessamento, como destacado por Reghini e Cavichioli (2020), desempenha um papel fundamental na agricultura de precisão, fornecendo ferramentas para análise e interpretação de dados espaciais. No entanto, a presença de áreas compactadas pode representar um desafio adicional para o geoprocessamento, exigindo métodos específicos para identificação e análise dessas áreas.

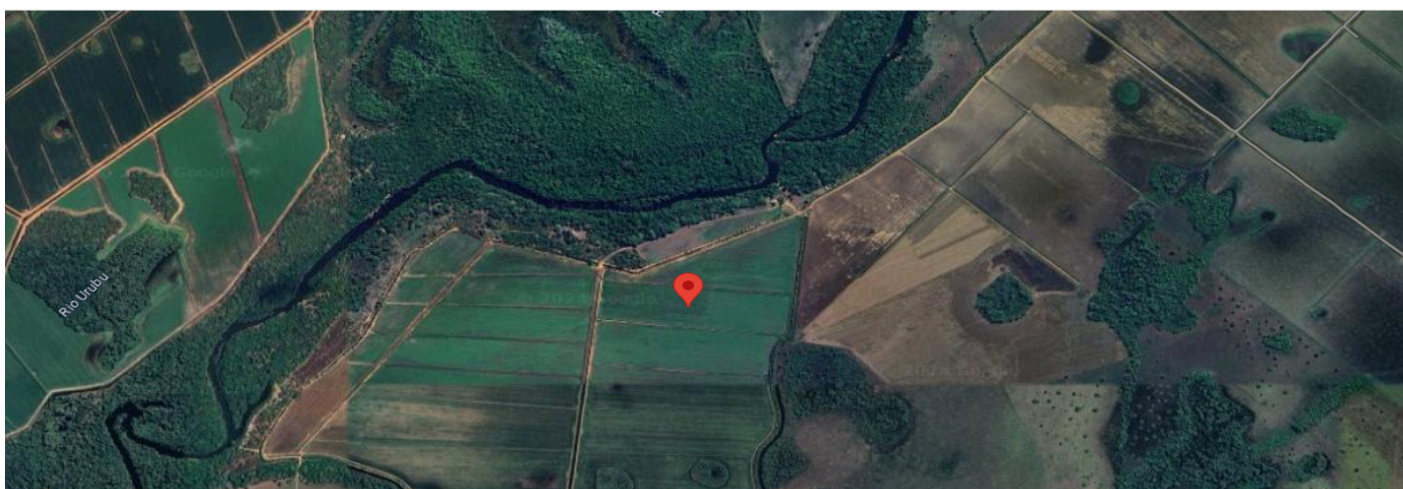
Em resumo, a compactação do solo representa um desafio significativo para a agricultura de precisão, afetando a eficácia das práticas de manejo e a precisão das recomendações de insumos agrícolas. Para superar esse desafio, são necessárias abordagens integradas que incorporem técnicas de geoprocessamento, análise de dados espaciais e manejo do solo para mitigar os efeitos da compactação e maximizar a produtividade das culturas.

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

6.1 Localização e características da área experimental.

A área de estudo está localizada a sudoeste do estado do Tocantins, no município de Lagoa da Confusão. A fazenda experimental Virginia possui coordenadas geográficas 10°50'43.4"S 49°45'35.0"W (Figura 1), e altitude de 200 m acima do nível do mar. A temperatura média anual na Lagoa da Confusão é de 26,7°C e a precipitação média anual é de 1.600 mm. A vegetação natural predominante é a floresta Aluvial, as chamadas Ipucas, com presença do lençol freático próximo à superfície (Cachoeira, et al.; 2022). O tipo de solo no local da colheita é o Plintossolo Argilúvico distrófico (IBGE, 2015). A área é irrigada por inundação sob plantio direto com arroz e soja.

Figura 1 – Localização geográfica do talhão experimental.



Fonte: Google Earth (2024)

6.1 Criação de malha amostral para coleta de dados.

Para a criação da malha amostral destinada à coleta de dados para avaliação da compactação do solo será adotada uma abordagem sistemática e aleatorizada em um talhão com área de 10 hectares. Esta malha será composta por 60 pontos de amostragem, os quais serão delimitados e distribuídos de forma regular no terreno, utilizando-se do aplicativo de celular “Amostragem de solos” que determinará de forma rápida e eficaz a localização concreta do ponto específico para análise de dados em relação a área do talhão (Figura 2).

Cada ponto de amostragem será identificado e georreferenciado com o auxílio de um sistema de posicionamento global (GPS) de navegação do tipo, Garmin Etrex 10 Mundial, garantindo assim a precisão e a exatidão espacial das informações coletadas. A coleta de dados será realizada nos pontos previamente estabelecidos, contemplando as variáveis: altura de planta, número de folhas, resistência à penetração do solo e produtividade por metro quadrado da cultura de soja implantada no talhão. Esses dados serão essenciais para a análise da relação entre a compactação do solo e o desenvolvimento da cultura, possibilitando a identificação de áreas com potenciais problemas de compactação e subsidiando a implementação de medidas corretivas para otimização da produtividade agrícola

Figura 2 – Grade regular aleatorizada com 60 pontos no aplicativo Amostragem de solos.



Fonte: App. Amostragem de solos (2024)

6.2 Determinação da altura e número de folhas de soja.

Para determinar a altura e o número de folhas das plantas de soja será coletado dados em campo, utilizando os pontos já marcados em uma grade amostral georreferenciada com área de 1 m². Com o auxílio de réguas será aferida a altura das plantas, e o número de folhas contados individualmente para calcular a média dessas variáveis em cada ponto da grade. Todos os dados serão registrados em uma planilha eletrônica, assegurando a organização e a integridade das informações coletadas. Em seguida, as análises estatísticas devem ser processadas para correlacionar a altura das plantas, o número de folhas e outros atributos, como a compactação do solo e a produtividade da cultura da soja.

6.3 Coleta de dados de resistência à penetração do solo.

Neste estudo, a coleta de dados de resistência à penetração do solo será conduzida de forma sistemática e precisa. Utilizando o equipamento penetrômetro de anel dinamométrico, serão realizadas leituras no mesmo dia em diversas áreas de estudo, com profundidades variando de 0-0,4 m. A escolha da profundidade é estratégica, visto que representa uma faixa relevante onde ocorrem interações entre as raízes das plantas e o solo, influenciando diretamente na absorção de água e nutrientes. A utilização da ponta do tipo cone no penetrômetro assegura a precisão das medições realizadas.

A coleta das amostras de solo será realizada com rigor, a fim de minimizar possíveis interferências que possam comprometer a integridade dos dados. Evitar áreas com carregadores e rastros de maquinário é essencial para garantir a representatividade das medições. Além disso, será adotada a prática de remover a camada superficial de palhada sem causar perturbações na superfície do solo, assegurando condições homogêneas para as medições de resistência à penetração. Essas medidas garantem a confiabilidade dos resultados, possibilitando uma análise precisa da compactação do solo e sua relação com a produtividade da soja em diferentes contextos agrícolas.

6.3.1. Transformação de kgf para kgf/cm².

Para os resultados de níveis de compactação em (kgf/cm²) do talhão, passa a ser necessária a transformação dos níveis pressão em (kgf) em pressão (kgf/cm²), portanto, os cálculos poderão ser realizados de acordo com o que sugere Sá e Santos Júnior (2005).

Para esta transformação, é necessário conhecer a área sobre a qual a força está sendo aplicada. O equipamento utilizado no experimento conta com a ponta do tipo cone com a área de 6,2074 cm². Então, a transformação de kgf para kgf/cm² será feita da seguinte forma:

$$Pressão (kgf/cm^2) = \frac{força(kgf)}{Área do prisma(cm^2)}$$

Em que:

Pressão (kgf/cm²) = pressão exercida em cm²

Força (kgf) = força exercida

Área do prisma = Área da base do prisma que corresponde a 6,2074 cm²

6.4 Determinação de produtividade.

A determinação da produtividade será realizada em uma data distinta das demais coletas de dados, mais precisamente durante o estágio fenológico de colheita da planta, compreendido entre as fases R7.3 e R8, após o processo de dessecação e senescência das plantas, com o intuito de garantir a máxima produtividade de grãos. Em cada ponto específico da grade de amostragem, todas as plantas contidas em uma área de 1 m² serão colhidas. Posteriormente, o material colhido será submetido a um processo de trilhagem para determinar o peso dos grãos e sua umidade. A produtividade será calculada com base em uma umidade padrão de 13%. Para isto será necessário a obtenção de alguns dados, como o peso úmido das sementes, que será medido através de Balança de Precisão modelo Bel S2202H e o peso dos grãos colhidos/m² no ponto estabelecido após a colheita, na qual será utilizado um medidor de umidade de grãos modelo G610i Gehaka para adequação de umidade ideal para a comercialização dos grãos de soja, sendo ela considerada igual a 13% de acordo com o que sugere SAFRA, B.(2021).

6.4.1 Fórmula de desconto de umidade:

$$P_{final} = P_{úmido} \times \left(\frac{100 - U_{colheita}}{100 - U_{ideal}} \right)$$

Em que:

P final = peso dos grãos, com desconto de umidade em 1m²

P úmido = peso dos grãos em 1m²

U colheita = valor da umidade dos grãos após a colheita (%)

U ideal = valor da umidade ideal dos grãos (U ideal soja = 13%)

6.5 Mapeamento em software QGIS 2.18.0.

O presente estudo irá adotar uma metodologia para o mapeamento da compactação do solo e sua relação com a produtividade da soja, utilizando o software QGIS versão 2.18.0. Inicialmente, após a determinação precisa da localização dos pontos de amostragem, as coordenadas geográficas serão identificadas por meio de um aplicativo de coleta de solos e registradas em graus, minutos e segundos. Posteriormente, essas coordenadas serão convertidas do sistema de referência WGS84 para o datum UTM Sirgas 2000 utilizando uma calculadora geográfica.

A tabela de dados a ser utilizada conterá informações relevantes, tais como ponto de colheita, latitude e longitude, coordenadas geográficas X e Y, número de folhas, altura das plantas, força (expressa em kgf), pressão (em kgf/cm²) e produtividade por hectare. Este conjunto de dados será exportado para um arquivo no formato CSV (separado por vírgula) para ser compatível com a plataforma de software livre QGIS versão 3.16.4, onde será estabelecido o sistema de referência adequado (Sirgas 2000/UTM zona 22s).

A metodologia para interpolação e krigagem dos pontos mapeados e georreferenciados no software QGIS é crucial para a obtenção de resultados precisos e significativos. Nesse sentido, serão utilizados os complementos essenciais, tais como o Quick Map Services, que fornece imagens de satélite do Google Hybrid para localização da área experimental, e o Smart-Map, empregado na interpolação e krigagem dos pontos coletados, gerando mapas coloridos como resultado.

Após a configuração da plataforma com o datum e os complementos necessários, serão estabelecidas duas camadas no QGIS. A primeira camada conterá o contorno do talhão experimental sobre a imagem de satélite, enquanto a segunda apresentará a grade de pontos reconhecidos pelo software por meio da importação dos dados, utilizando o formato de texto delimitado.

Utilizando o complemento Smart-Map, serão configurados os parâmetros para krigagem. Isso incluirá a definição do tamanho do pixel do grid e a seleção da opção de interpolação de krigagem ordinária. Seguindo estes procedimentos para todos os parâmetros avaliados, será possível obter mapas de krigagem, utilizando uma paleta de cores específica, na qual as áreas mais compactas, com menor número de folhas, menor altura de plantas e menor produtividade serão destacadas em vermelho. Por outro lado, as áreas com características opostas serão identificadas em verde, proporcionando uma visualização clara das variações no campo experimental.

6.6 Equipamentos utilizados

Para a realização da coleta de dados de resistência à penetração do solo, será utilizado o equipamento penetrômetro de anel dinamométrico mostrado na figura 3.

Figura 3 - Penetrômetro de Solos com Anel Dinamométrico



Fonte: <https://www.falker.com.br/br/penetrolog>

A obtenção de dados, como o peso úmido das sementes e peso dos grãos colhidos/m² da pesagem, será medida através da Balança de Precisão Bel S2202H mostrada na figura 4.

Figura 4 - Balança de Precisão Bel S2202H.



Fonte: <https://www.belequipamentos.com.br/capa.asp?pi=produto&proid=908>

Para obtenção da umidade de grãos, será feita a aferida pelo medidor G610i Gehaka mostrado na figura 5.

Figura 5 - Medidor de Umidade de Grãos Portátil G610i Gehaka



Fonte: <https://www.gehaka.com.br/produtos/linha-agricola/medidor-de-umidade-de-graos-portatil/g610i>

Para o georreferenciamento dos pontos de amostragem será utilizado o GPS de navegação do tipo, Garmin mostrado na figura 6.

Figura 6 - Gps Portátil Garmin Etrex 10 Preto/amarelo Mundial



Fonte: <https://www.garmin.com/pt-BR/p/87768>

7. RESULTADOS ESPERADOS

Ao realizar o experimento, espera-se obter um conjunto integrado de dados de solo e planta que permitirá identificar, através do uso de sensoriamento remoto e técnicas de amostragem, os níveis de compactação em diferentes pontos do talhão e com isso a disponibilização final, na forma de mapas e camadas espaciais obter imagens coloridas de fácil reconhecimento, possíveis efeitos da compactação em relação a planta específica em estudo. Isso possibilitará exemplificar como a metodologia empregada foi eficaz para a determinação de complicações específicas do talhão e para que seja realizada a implementação de estratégias de manejo localizadas para mitigar o problema específico, dando ênfase na ideia de difundir a metodologia empregada em toda a área da fazenda.

8. CRONOGRAMA

Tabela 1- Cronograma das atividades projetadas para elaboração do projeto.

PROCEDIMENTOS	PERÍODOS EM MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pesquisa bibliográfica.				x								
Elaboração do pré projeto.				x								
Defesa do Pré Projeto.						x						
Elaboração do projeto.							x					
Coleta de dados em campo.							x					
Coleta de plantas para dados de produtividade.								x	x			
Interpretação e análise de dados.										x		
Elaboração do mapeamento em Software.										x		
Revisão bibliográfica.				x	x		x	x	x	x	x	
Conclusão das análises.										x		
Elaboração da Monografia.										x	x	
Publicação da monografia.											x	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

9. PLANILHA DE ORÇAMENTO.**Tabela 2-** Orçamento para realização do projeto.

ITEM	UNID	QUANT	VALOR UNIT. (R\$)	TOTAL
Combustível	Litro	10	R\$ 5,85	R\$ 58,50
Papel A4	Resma	01	R\$ 35,00	R\$ 35,00
Remuneração de serviço de terceiros	Diária	02	R\$ 100,00	R\$ 200,00
Alimentação	-	04	R\$ 100,00	R\$ 400,00
Penetrômetro analógico	-	01	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Sacos plásticos (100 unid)	Pacote	01	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Balança de precisão	-	01	R\$ 3.362,61	R\$ 3.362,61
Medidor de Umidade	-	01	R\$ 6.750,00	R\$ 6.750,00
Gps Portátil Garmin Etrex 10	-	01	R\$1.682	R\$1.682
TOTAL				R\$17.538,11

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

10. REFERÊNCIAS

- ARCOVERDE, S.N.S.; SOUZA, C.M.A.; ARMANDO, E.J.; & ARAÚJO, A.L.F. Soil physical attributes and agronomic characteristics relationships of soybean in no-tillage. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 30, n. Contínua, p. 97-110, 2022.
- ARCOVERDE, S. N. S.; DE SOUZA, C. M. A.; SUAREZ, A. H. T.; COLMAN, B. A.; & DE JESUS NAGAHAMA, H. Atributos físicos do solo cultivado com cana-de-açúcar em função do preparo e época de amostragem. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 41-47, 2019.
- AHMED, N; MASOOD, S; AHMAD, S.; BASHIR, S; HUSSAIN, S; HASSAN, W.; ... & ALI, M. A. Soil management for better crop production and sustainable agriculture. **Agronomic Crops: Volume 2: Management Practices**, p. 47-71, 2019.
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; & FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 843-849, 2005.
- BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; & VALENTINE, T. AL. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of experimental botany**, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.
- BENASSI, C.; BENASSI, D.A.; GABARDO, G. & SILVA, H. Conhecimento dos agricultores no estudo da compactação dos solos na região sul do paraná. In: **VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo - RPCS**. Ponta Grossa, 28 a 31 de março de 2019. Disponível em: <https://rpcs2019.com.br/trabalhos_aprovados/arquivos/04302019_190401_5cc8c95d92061.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 559-577.
- BULLOCK, D. G.; BULLOCK, D. S.; NAFZIGER, E. D.; DOERGE, T. A.; PASZKIEWICZ, S. R.; CARTER, P. R.; & PETERSON, T. A. Does variable rate seeding of corn pay?. **Agronomy journal**, v. 90, n. 6, p. 830-836, 1998.
- BONINI, CAROLINA SB; ALVES, MARLENE C.; MONTANARI, RAFAEL. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 388-393, 2015.
- BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. D. C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; & CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, p. 17-36, 2019.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. (2023). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra brasileira de grãos: Safra 2022/23**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 15 de março de 2024.
- CACHOEIRA, J. N.; DA SILVA, A. D. P.; DA COSTA LEITE, O.; DOS SANTOS, T. C. N.; SANTOS, M. M.; & DOS SANTOS CARDOSO, J. Doses de calcário nos atributos químicos de solo de várzea do sul do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 10, n. 3, p. 229-236, 2022.
- CORREA, J.; POSTMA, J. A.; WATT, M.; & WOJCIECHOWSKI, T. Soil compaction and the architectural plasticity of root systems. **Journal of experimental botany**, v. 70, n. 21, p. 6019-6034, 2019.
- COLOMBI, T.; TORRES, L. C.; WALTER, A.; & KELLER, T. Feedbacks between soil penetration resistance,

- root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth—A vicious circle. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 1026-1035, 2018.
- DOS SANTOS, H.G. I. **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 353 p.
- DE MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; MASTROBERTI, A. A.; LEVIEN, R.; LEITNER, D.; & SCHNEPF, A. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 200, p. 104611, 2020.
- DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).
- SAFRA, B. **Sementes de soja: o que você deve saber**. Disponível em: <<https://www.boasafraseementes.com.br/sementes-de-soja/>>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- DE SA, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2005. 26p. Documentos, 136
- FRIED, HARRISON GREGORY; NARAYANAN, SRUTHI; FALLEN, BENJAMIN. Characterization of a soybean (*Glycine max* L. Merr.) germplasm collection for root traits. **PloS one**, v. 13, n. 7, p. e0200463, 2018.
- GEORGI, C.; SPENGLER, D.; ITZEROTT, S.; & KLEINSCHMIT, B. Automatic delineation algorithm for site-specific management zones based on satellite remote sensing data. **Precision agriculture**, v. 19, p. 684-707, 2018.
- GONÇALVES, G. S. Mapeamento da compactação do solo em sistema de plantio direto na região da estrada de ferro. p.29. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) - Curso de Agronomia**, UniEVANGÉLICA, Centro Universitário de Anápolis.
- GALAMBOŠOVÁ, J.; MACÁK, M.; RATAJ, V.; ANTILLE, D. L.; GODWIN, R. J.; CHAMEN, W. C.; ... & CHLPÍK, J. Field evaluation of controlled traffic farming in Central Europe using commercially available machinery. **Transactions of the ASABE**, v. 60, n. 3, p. 657-669, 2017.
- IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. 430 p.
- ISPA, Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão. **Conceito de agricultura de Precisão em 2019**. Disponível em: <<https://www.ispag.org/about/definition>> Acesso em: 15 de março de 2024.
- KIRNAK, H.; GOKALP, Z.; DOGAN, E.; & ÇOPUR, O. Effects of irrigation, soil compaction and fertilization treatments on physiological-vegetative characteristics and root development of soybean. **Legume Research-An International Journal**, v. 39, n. 1, p. 52-60, 2016.
- KOLB, EVELYNE; LEGUÉ, VALÉRIE; BOGEAT-TRIBOULOT, MARIE-BÉATRICE. Physical root–soil interactions. **Physical biology**, v. 14, n. 6, p. 065004, 2017.
- LETEY, J. O. H. N. Relationship between soil physical properties and crop production. **Adv. Soil Sci**, v. 1, p. 277-294, 1985.
- LAMPARELLI, R.A.C. **Agricultura de precisão**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2016. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/contag01_72_711200516719.html. Acesso em: 15 de março de 2024.
- HARGREAVES, P.; BAKERB, K. L.; GRACESONC, A.; BONNETTD, S.; BALLE, B. C.; & CLOYE, J. M. Soil compaction effects on grassland silage yields and soil structure under different levels of compaction over three years. **European Journal of Agronomy**, v. 109, p. 125916, 2019.
- LAGES, S. C. Desenvolvimento do jiggs em diferentes graus de compactação em solos de Santa Catarina. **Tese (Pós-Graduação em Ciência do Solo)** - Universidade do Estado de Santa Catarina, LAGES, SC

2019.

MORAES, M. T. D.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; & SILVA, V. R. D. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 288-298, 2014.

MOLIN, J. P.; BAZAME, H. C.; MALDANER, L.; CORREDO, L. D. P.; MARTELLO, M.; & MARTELLO, M. Precision agriculture and the digital contributions for site-specific management of the fields. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, p. e20207720, 2021.

MASSRUHA, S.; LEITE, M. D. A.; OLIVEIRA, S. D. M.; MEIRA, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E.; & SILVIA MARIA FONSECA S MASSRUHA, P. R. **Digital agriculture: research, development and innovation in production chains**. 2023.

NEGIN, BOAZ; MOSHELION, MENACHEM. The advantages of functional phenotyping in pre-field screening for drought-tolerant crops. **Functional Plant Biology**, v. 44, n. 1, p. 107-118, 2016.

PEIXOTO, D. S.; SILVA, B. M.; DE OLIVEIRA, G. C.; MOREIRA, S. G.; DA SILVA, F.; & CURTI, N. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104307, 2019.

PUSCH, M.; MACHADO, T.P.; AMARAL, L.R. **Introdução a Agricultura de Precisão**, 03/2019. Disponível em: < <https://www.feagri.unicamp.br> > Acesso em: 15 de março de 2024.

REGHINI, FERNANDO LUCAS; CAVICHIOLI, FÁBIO ALEXANDRE. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 329-339, 2020.

ROSA, H. A. Sensoriamento remoto orbital e não orbital no delineamento de zonas de manejo para agricultura de precisão. 2021. 75 p. **Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná Campus de Cascavel**.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. D. S.; & BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 31-40, 2006.

SHARMA, R. P.; CHATTARAJ, S.; VASU, D.; KARTHIKEYAN, K.; TIWARY, P.; NAITAM, R. K.; ... & NIMKAR, A. M. Spatial variability assessment of soil fertility in black soils of central India using geostatistical modeling. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 7, p. 876-888, 2021.

SPIVEY JR, L. D.; BUSSCHER, W. J.; CAMPBELL, R. B. The effect of texture on strength of southeastern coastal plain soils. **Soil and tillage research**, v. 6, n. 4, p. 351-363, 1986.

SHAH, A. N.; TANVEER, M.; SHAHZAD, B.; YANG, G.; FAHAD, S.; ALI, S.; ... & SOULIYANONH, B. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 10056-10067, 2017.

SILVA, S. de A.; SOUZA LIMA, J. S.; SANTOS, N. T. Análise da variabilidade espacial e temporal. **Agricultura digital**, Viçosa: UFV, p.45-65, 2020.

SHANAHAN, J. F.; DOERGE, T. A.; JOHNSON, J. J.; & VIGIL, M. F. Feasibility of site-specific management of corn hybrids and plant densities in the great plains. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 207-225, 2004.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M. D.; SILVEIRA, P. M. D.; & BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1339-1348, 2011.

TROLEIS, M. J. B. Atributos físico-químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo na produção de soja e sorgo em cerrado de baixa altitude. 13 p. **Tese (Doutorado em Sistemas de Produção)** - Universidade estadual paulista "júlio de mesquita filho" faculdade de engenharia câmpus de ilha solteira.2020.

TURCATTO, L. M.; ZANDONAD, R. S. Variabilidade da produtividade e a relação com padrões de NDVI

obtidos com imagens do landsat8. **1º SIMPÓSIO Mato-Grossense De Mecanização Agrícola e Agricultura De Precisão – SIMAP UFMT**, Campus Universitário de Sinop, 2018.

TASSINARI, D.; JUNIOR, M. D. S. D.; CASAGRANDE, D. R.; PAIS, P. S. A. M.; & DE SOUZA, Z. R. Short term changes on soil physical quality after different pasture renovation methods on a clayey oxidic Red Latosol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 485-491, 2015.

VALADÃO, F. C. DE A; WEBER, O. L. DOS S; VALADÃO JÚNIOR, D. D; SANTIN, M. F. M; SCAPINELLI, A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 183-195, 2017.

VERÍSSIMO, F. P.; & FERRAZ, L. R. Efeito de plantas de cobertura no manejo do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) em sistema de plantio direto.p. 01-02, **Trabalho de conclusão de curso II (TCC) - Curso de Agronomia**, Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados. 2019.

WANG, JIE; SIMEONOVA, SANDRA; SHAHBAZI, MOZHDEH. Orientation-and scale-invariant multi-vehicle detection and tracking from unmanned aerial videos. **Remote Sensing**, v. 11, n. 18, p. 2155, 2019.

ZAMBRANA, M. O. D.; RUIZ, H. A.; DA SILVA, T. C. A.; NEVES, J. C. L.; CORRÊA, G. F.; & ERASO, M. H. R. A compactação de três materiais de solo, na redução da condutividade hidráulica, porosidade do solo e matéria seca de raiz nas culturas de soja e caupi. **Revista de Ciencias Agrícolas**, v. 27, n. 1, p. 74-84, 2010.